

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

EFEECTO DE HONGOS MICORRÍDICOS ARBUSCULARES Y EXTRACTO ACUOSO DE VERMICOMPOST SOBRE CALIDAD DE FRESA

Fabián Heriberto Rivera-Chávez; Gilberto Vázquez-Gálvez; Luz Elena Castillejo-Álvarez;
M. Valentina Angoa-Pérez; Guadalupe Oyoque-Salcedo y
Hortencia Gabriela Mena-Violante
Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 119-130.



e-revist@s

EFFECTO DE HONGOS MICORRÍDICOS ARBUSCULARES Y EXTRACTO ACUOSO DE VERMICOMPOST SOBRE CALIDAD DE FRESA

EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND VERMICOMPOST LIQUID EXTRACT ON QUALITY OF STRABERRY

Fabián Heriberto **Rivera-Chávez**¹; Gilberto **Vázquez-Gálvez**¹; Luz Elena **Castillejo-Álvarez**¹, M. Valentina **Angoa-Pérez**¹, Guadalupe **Oyoque-Salcedo**¹; Hortencia Gabriela **Mena-Violante**¹

¹CIIDIR-IPN, Departamento de Investigación. Justo sierra # 28 Colonia Centro, Jiquilpan Michoacán.

RESUMEN

La aplicación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y vermicompost constituye una alternativa al uso de agroquímicos para garantizar el rendimiento y calidad de los cultivos, disminuyendo el costo y el deterioro del medio ambiente. En el presente trabajo se evaluó el efecto de HMA y extracto acuoso de vermicompost (VL) sobre la calidad de frutos de fresa. Los tratamientos fueron: 1) control absoluto con agua (CTL); 2) fertilizado (F); 3) inoculado con HMA (M); 4) con vermicompost líquido (VL); 5) inoculado con HMA y fertilizado (M+F); 6) fertilizado y con vermicompost líquido (VL+F); 7) inoculado con HMA, y con vermicompost líquido; 8) inoculado con HMA, fertilizado y con vermicompost líquido (M+F+VL). Los parámetros evaluados fueron: color, peso, diámetro polar, diámetro ecuatorial, firmeza, °Brix, análisis proximal, contenido de fenoles, flavonoides y antocianinas. Los tratamientos VL y M promovieron un peso de fruto significativamente mayor al de los frutos del tratamiento fertilizado (39%). En general los tratamientos con HMA incrementaron el % de ceniza, excepto cuando estos se combinaron con fertilizante. El tratamiento M promovió un aumento significativo del % de ceniza en los frutos de fresa en comparación con el tratamiento F (3.7% mayor). Los tratamientos con HMA y VL (solos o combinados) incrementaron el % de grasa de los frutos respecto al tratamiento F. No se encontraron efectos significativos de los tratamientos sobre el % de fibra cruda. Los frutos de plantas tratadas con VL+F fueron significativamente más firmes (20%) que los frutos del tratamiento F. Se observó que los frutos del tratamiento M+F presentaron los mayores valores de °Brix (14% más altos que en frutos del tratamiento F). Interesantemente, los frutos obtenidos de las plantas tratadas con VL y M+F presentaron un contenido de fenoles totales significativamente superior al de los frutos del tratamiento F (29 y 17%, respectivamente). En general, los tratamientos con HMA y VL promovieron la acumulación de flavonoides. Los frutos del tratamiento M presentaron un contenido significativamente mayor de estos pigmentos (1.8 veces) que los frutos del tratamiento F. El mayor contenido de antocianinas lo presentaron los frutos del tratamiento M+VL siendo 38% mayor que el contenido de estos pigmentos en frutos del tratamiento F. Los resultados demostraron que la aplicación de HMA y VL influencia significativamente atributos sensoriales y nutraceuticos de los frutos de fresa.

Palabras clave: *Fragaria ananassa*, humus, análisis proximales, fenoles, flavonoides, antocianinas.

SUMMARY

The application of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and vermicompost is one of the alternatives to agrochemical products, to reach crops yield and quality, reducing costs and environmental damage. In the present study, the effect of applying AMF and vermicompost aqueous extract (LV) on strawberry fruit quality, was evaluated. The treatments were: 1) control with water (CTL); 2) fertilized (F); 3) inoculated with AMF (M); 4) with vermicompost aqueous extract (LV); 5) inoculated with AMF and fertilized (M+F); 6) fertilized and with vermicompost aqueous extract (LV+F); 7) inoculated with AMF, and treated with vermicompost aqueous extract (M+LV); 8) inoculated with AMF, fertilized and treated with vermicompost aqueous extract (M+F+LV). The evaluated parameters were: color, weight, polar and equatorial diameter, firmness, °Brix, proximal analysis, phenols, flavonoids and anthocyanins contents. LV and M treatments promoted a significant increase of fruit weight (39%) compared to the fertilized treatment. In general, treatments with AMF increased ash except when combined with fertilization. The M treatment caused a significant increase of ash (3.7%) respect to the F treatment. The treatments containing AMF and LV (alone or combined with others) increased fat content in fruits, in comparison with the F treatment. There were no significant effects treatments on fiber content. Fruits from plants treated with LV+F were significantly firmer (20%) than fruits in the F treatment. Fruits in the M+F treatment showed the higher values of °Brix (14% higher than fruits in the F treatment). Interestingly, fruits from the treatments LV and M+F had significantly superior contents of total phenols than fruits from the F treatment (29 and 17% respectively). In general, the treatments containing AMF and LV promoted flavonoid accumulations in fruits. Fruits of the M treatment showed a significantly greater content of this pigments (1.8 times) than fruits of the F treatment. Fruits of the M+VL treatment showed the highest anthocyanins content, being 38% greater than that found in fruits of the F treatment. Results showed that the application of AMF and LV influenced sensorial and nutraceutical fruit quality attributes in strawberry.

Key words: *Fragaria ananassa*, humus, proximal analysis, phenols, flavonoids, anthocyanines.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola actual, requiere de estrategias para reducir los insumos asegurando el rendimiento y la calidad de los cultivos a un costo relativamente bajo, sin deterioro del medio ambiente. En este sentido, una alternativa al uso de agroquímicos, es la aplicación de biofertilizantes y/o bioestimuladores, entre los que se encuentran los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) (Vessey, 2003) y el vermicompost (Tsavkelova *et al.*, 2006), los cuales estimulan el crecimiento de las plantas y favorecen su sano desarrollo.

Los HMA habitan en la rizosfera e interactúan con las raíces de las plantas formando una simbiosis mutualista, que permite a la planta la absorción más eficiente de nutrimentos (Hernández y Chailloux, 2001; Vessey, 2003) y de agua (Augé, 2004), así como una mayor tolerancia al ataque de patógenos (Alejo-Iturvide *et al.* 2008); mientras que los hongos son provistos de fuentes de carbono (Smith y Read, 1997). Se ha documentado el efecto positivo de los HMA sobre los rendimientos de diversos cultivos (Duffy y Cassells, 2000; Kaya *et al.*, 2003). En cuanto al efecto de los HMA sobre los frutos existe poca información. Se ha reportado que estos influyen el tamaño de los productos agrícolas (Kaya *et al.*, 2003; Mena-Violante *et al.*, 2006), además de su calidad interna. Bagyaraj y Sreeramulu (1982) reportaron el incremento en el contenido de vitamina C de chiles producidos con HMA. Adicionalmente, Mena-Violante *et al.*, (2006) encontraron que el contenido de carotenoides se incrementó en frutos de *Capsicum annuum* por efecto de la inoculación con consorcios de HMA. En este sentido, Olalde-Portugal y Mena-Violante, (2008) propusieron a los HMA entre otros microorganismos rizosféricos, como factores bióticos pre-cosecha que promueven cambios en los atributos de calidad (externa e interna) de frutas y hortalizas. Otro factor pre-cosecha que podría influenciar la calidad de frutos de cultivos de interés comercial, es la aplicación de vermicompost, el cual es rico en poblaciones microbianas, particularmente de hongos, bacterias y actinomicetos. El vermicompost contiene también sustancias húmicas (SH) que interactúan con componentes orgánicos del suelo y de las raíces de plantas en la matriz del suelo, donde pueden influenciar no sólo la fertilidad y conservación del mismo, sino también la fisiología de las plantas. Se ha reportado que las SH mejoran el crecimiento de las plantas en términos de longitud y biomasa de raíz, además de mejorar la adquisición de nutrimentos e incrementar la concentración de clorofila en hojas (Nardi *et al.*, 2002). Se ha reportado que la aplicación de vermicompost puede incrementar el rendimiento y número de frutos de diversos cultivos (e.g. chile, fresa) (Arancon *et al.*, 2004a, Arancon *et al.*, 2006). Además, la aplicación de extractos acuosos de vermicompost forliaramente o en el suelo, ha mostrado efectos positivos sobre la salud de las plantas, el rendimiento y la calidad nutricional, mejorando las comunidades microbianas benéficas, mejorando el estatus nutricional de las plantas e induciendo sus mecanismos de defensa (Scheuerell *et al.*, 2002; Carpenter, 2005; Pant *et al.*, 2009). Cabe señalar que muchos de los beneficios que el vermicompost provee a los cultivos se han atribuido principalmente a su actividad de “fitohormonas” (Zandonadi *et al.*, 2007; Arancon *et al.*, 2004b).

La aplicación futura de desarrollos tecnológicos basados en los HMA y vermicompost, requiere conocer su efecto sobre los productos finales. Además los distintos actores de las cadenas productivas así como los consumidores, han adquirido conciencia de los efectos secundarios derivados del uso de agroquímicos, aunada al creciente interés por el valor nutricional y el contenido de componentes bioactivos de los productos agrícolas, tal como la fresa que es uno de los cultivos de mayor importancia en nuestro país, cuyos principales atributos de calidad son el sabor, el color y firmeza, así como el contenido de vitamina C y diversos compuestos nutraceuticos que incluyen fenoles, flavonoides y antocianinas (Meyers *et al.*, 2003), los cuales han demostrado un alto poder antioxidante (Sun *et al.*, 2002; Gu *et al.*, 2004; Scalzo *et al.*, 2005) y se han asociado a múltiples beneficios en la salud (Hannum, 2004, Freese *et al.*, 2006). Considerando los beneficios

que podrían alcanzarse con la aplicación de HMA y vermicompost en el cultivo de la fresa, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de HMA y de extracto acuoso de vermicompost sobre la calidad de frutos de fresa (*Fragaria ananassa*) variedad Albion producidos en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizaron plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) variedad Albion de calidad certificada de la compañía Lassen Canyon Nursery Inc de California, EUA. El inóculo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) consistió en un consorcio perteneciente al cepario del Laboratorio de Bioquímica Ecológica del CINVESTAV Unidad Irapuato.

Producción de vermicompost

El vermicompost líquido se elaboró de acuerdo a la metodología indicada por Vázquez-Gálvez *et al.*, (2009), para esto se utilizó estiércol vacuno y lombrices de *Eisenia foetida* Sav para la obtención de vermicompost sólido, el cual se colocó en un recipiente de 200 l (una parte de vermicompost sólido y tres de agua). La mezcla se agitó durante 48 h y se dejó reposar, se separó la parte líquida y se diluyó con agua (30 l del extracto en 200 L de agua). El vermicompost líquido tenía pH 8.68 (1:5 agua), conductividad eléctrica 2.37 mmhos/cm, capacidad de intercambio catiónico 6.73 meq/100g de muestra, relación Carbono/Nitrógeno 7.59, 3.53% de materia orgánica 0.97% de ácidos húmicos, 0.18% de ácidos fúlvicos.

Experimento

El estudio fue realizado en el invernadero del CIIDIR-IPN unidad Michoacán, en la ciudad de Jiquilpan de Juárez, Michoacán. El sitio del experimento se ubica en los 19° 59' 57.30" de Latitud Norte y los 102° 42' 23.56" de Longitud Oeste, a una altitud de 1545 m.s.n.m.

Las plantas fueron trasplantadas en macetas de 5 kg que contenían suelo de la localidad con las siguientes características: vertisol, pH (en agua) 6.72, conductividad eléctrica 95 μ s, Fósforo (Olsen y Sommers, 1982) 15.8%, Nitrógeno 0.1%, materia orgánica 2.7%, arena 24.8%, Limo 21.0%, arcilla 54.2%. Las plantas se colocaron en suelo completamente húmedo, a una distancia entre sí de 20 cm a lo largo de la hilera, obteniéndose una densidad de 10 plantas por m².

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental constó de 8 macetas. Los tratamientos aplicados fueron: Los tratamientos aplicados fueron: 1) control absoluto con agua (CTL); 2) fertilizado (F); 3) inoculado con HMA (M); 4) con vermicompost líquido (VL); 5) inoculado con HMA y fertilizado (M+F); 6) fertilizado y con vermicompost líquido (VL+F); 7) inoculado con HMA, y con vermicompost líquido; 8) inoculado con HMA, fertilizado y con vermicompost líquido (M+F+VL).

Se instaló un sistema de riego por goteo, con depósitos de 200 L para la aplicación de agua, fertilizante líquido de Steiner y vermicompost líquido, que se distribuyeron a las plantas impulsados por una bomba centrífuga de 0.25 hp, a través de cinta regante colocada sobre las hileras de plantas y con goteros distanciados cada 20 cm. El inóculo de HMA contenía 10 esporas/g y se aplicó (10 g) al momento del trasplante. Las plantas se mantuvieron en invernadero hasta fructificación. Los frutos se cosecharon en estado 6 de madurez según NMX-FF-062-SCFI-2002.

Análisis proximales

Se realizaron medidas de los indicadores de producción: diámetro ecuatorial, polar, peso y se clasificaron los frutos de acuerdo a la norma NMX-FF-062-SCFI-2002. Además, se determinaron los ° Brix de los frutos según metodología indicada en la norma NMX-F-103-1982.

Para la determinación del color del fruto de fresa se midió el coeficiente de luminosidad L, los parámetros a y b, y la cromaticidad (C) utilizando un espectrofotómetro Minolta CR- 300, para lo cual, se registraron lecturas de tres puntos seleccionados al azar de la zona ecuatorial del fruto recién cosechado, arrojando un promedio final de las 3 lecturas. Otro de los indicadores que se midió fue la firmeza de los frutos enteros mediante una prueba de penetración. Se evaluó la fuerza máxima requerida para penetrar el fruto a una distancia especificada de 10 mm en la zona ecuatorial utilizando una sonda cilíndrica de 3 mm de diámetro (velocidad=5 mm s-1) acoplada a un equipo Texture Analyzer TA-XT2 (Stable Micro Systems).

Extracción y cuantificación de fenoles, flavonoides y antocianinas

Para la extracción de fenoles se peso 1 g de fruto de fresa congelado y almacenado a -20°C, se homogenizó con 20 ml de metanol acuoso (80:20, v/v) por 5 min. El homogeneizado se agitó a 200 rpm y temperatura de 25°C por 24 h en oscuridad. En seguida la muestra se filtró al vacío con papel Whatman No. 40. El filtrado se llevó a sequedad en un rotavapor Buchi RII y se resuspendió en metanol (1 ml). Los extractos fueron almacenados a -20°C para su posterior utilización. La extracción se realizó por triplicado.

Para la determinación de fenoles totales se recurrió la metodología desarrollada por Singleton y Rossi, (1965) usando el reactivo de Folin-Ciocalteu. Para lo cual se mezclaron 50 µl de cada extracto con 200 µl de agua destilada, adicionando 250µl de reactivo de Folin-Ciocalteu (50% v/v), se agitaron vigorosamente por 3 min. Después se agregaron 500µl de solución de Na₂CO₃ en agua (7.5% P/V) y se mezclaron vigorosamente. En seguida se incubaron a una temperatura de 45°C por 15 min para posteriormente medir su absorbancia a 765nm en un espectrofotómetro UV-Visible (CARY 3E), utilizando como blanco el metanol acuoso (80:20 v/v). Para la cuantificación de fenoles totales se utilizó ácido gálico como estándar (0-30 µg ml⁻¹). El contenido de fenoles totales se expresó como equivalentes de ácido gálico (mg por 100 g de peso fresco). La cuantificación de fenoles se realizó por triplicado

Para la extracción de flavonoides totales se peso 1 g de fruto de fresa congelado y almacenado a -20°C, se homogenizó con 10 ml de etanol al 80%. Posteriormente se sonicó durante 30 min a 60°C y se centrifugó a 1,300 rpm por 10 min. El sobrenadante fue almacenado a -20°C. La extracción se realizó por triplicado. Para la cuantificación se utilizó quercitina como estándar. A 100 µl de extracto se les añadieron 200 µl de solución de acetato de potasio 1M y 200 µl de nitrato de aluminio al 10%. Se aforaron a 1 ml con etanol al 80%. Se dejaron reposar por 40 min y se midió la absorbancia contra un blanco de etanol al 80% 415 nm en el espectrofotómetro UV-visible. Cada muestra se determinó por triplicado. Los resultados fueron expresados en mg de quercitina en 100 g de peso fresco.

Para la extracción de antocianinas se pesaron 0.5 g de fruto de fresa congelado y almacenado a -20°C, se homogenizó en 5 ml de metanol acidificado (metanol, HCl 1N) 85:15 V/V con agitación vigorosa. En seguida la muestra se dejó en agitación a 200 rpm a 25°C por 16 h. Posteriormente se filtró al vacío con papel filtro Whatman No. 40 y aforó a 25 ml con metanol acidificado. Para la cuantificación de antocianina se tomó un alícuota de 3 ml y se leyó su absorbancia a 535nm en el espectro fotómetro UV-visible. El total de antocianinas se calculó con la formula siguiente:

$$C=(A/\epsilon)(V/1000)*Mw*(1/peso\ de\ la\ muestra)*103$$

Donde:

A= Absorbancia leída

ε= Absorbancia molar de la cianidina-3-glucósido, 25. 965 cm⁻¹ M⁻¹

V= Volumen total del extracto de antocianinas

Mw= peso molecular de la cianidina-3-glucósido, 449 gr/mol

Se reporta en mg de cianidina-3-glucósido por gramo de muestra (Abdel-Aal y Hulc, 1999).

Análisis estadístico

Los datos se procesaron con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9, con una prueba paramétrica de análisis de varianza (ANOVA) y diseño experimental completamente al azar. La separación de medias se realizó con la prueba de la diferencias mínima significativas (DMS), con un valor de significancia de P= 0.05

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los múltiples beneficios que los HMA aportan a las plantas, tales como la mejor adquisición de nutrimentos y de agua (Smith y Read, 1997; Augé, 2004) y el control de patógenos (Zehnder et al., 2001; Whipps, 2004), se ha reportado el incremento en el rendimiento de diversos cultivos tales como chile (Bagyaraj y Sreeramulu, 1982), papa (Duffy y Cassells, 2000) y sandía (Kaya et al., 2003). Por otro lado, se ha reportado el efecto positivo de la adición del vermicompost y extractos de sus ácidos húmicos sobre el crecimiento, rendimiento y contenido de minerales de diferentes cultivos (Azarmi et al., 2008; Arancon et al. 2003; Atiyeh et al., 2002; Atiyeh et. al., 2000a, Atiyeh et. al., 2000c). Adicionalmente, se ha documentado la efectividad del humus líquido (extracto acuoso de vermicompost) aplicado foliarmente en las primeras etapas del crecimiento y desarrollo de tomate y fresa (Artega et al., 2006). A pesar de que inicialmente dichos beneficios se atribuían a efectos nutricionales (biofertilizantes), diversos estudios han demostrado que el vermicompost puede ejercer además efectos bioestimulantes (Arancon et al., 2006). En cuanto al efecto de HMA y del VL sobre la calidad de frutos propiamente dicha, existe muy poca información. En este caso, el tamaño de los frutos en términos de peso y diámetro polar respondió a la aplicación de los HMA y del VL, y la magnitud de dicha respuesta dependió de su aplicación de manera independiente, conjunta o en combinación con fertilizante (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la utilización de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y vermicompost líquido (VL) sobre el tamaño de frutos rojos de fresa (*Fragaria x ananassa*) variedad Albion

Tratamiento	Peso (g)	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)
CTL	14.3±0.25 c	4.06±0.63 abc	2.90±0.24 a
F	15.3±0.37 c	3.53±0.65 c	2.66±0.32 a
M	17.9±0.28 b	4.12±0.71 abc	3.18±0.22 a
VL	21.3±0.28 a	4.63±0.12 a	3.33±0.21 a
M+F	15.6±0.23 c	3.63±0.47 c	2.70±0.26 a
VL+F	17.0±0.18 bc	4.03±0.22 abc	2.90±0.40 a
M+VL	18.2±0.33 c	4.37±0.37 ab	3.14±0.16 a
M+VL+F	15.7±0.25 c	4.04±0.07 abc	2.96±0.04 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según MDS P<0.05

Los frutos de las plantas de fresa del tratamiento VL presentaron un peso significativamente mayor a los frutos de aquellas plantas en las que se aplicaron el resto de los tratamientos. Por su parte el tratamiento M, promovió un incremento significativo del peso de fruto respecto al control absoluto

con agua (CTL) y al control fertilizado (F) (25 y 17% respectivamente). En general, los tratamientos aplicados favorecieron un diámetro polar mayor en los frutos de fresa en comparación con el tratamiento F, excepto el tratamiento M+F cuyos frutos igualaron el diámetro polar de los frutos del tratamiento F. El diámetro ecuatorial no mostró diferencias significativas por efecto de los tratamientos.

Los resultados mostraron que el VL promovió la producción de frutos de mayor peso y diámetro polar. En este sentido, se ha documentado que el vermicompost sólido de desechos de papel, aplicado en el cultivo de fresa (*Fragaria ananassa*) var 'Chandler' además de promover el crecimiento de las plantas, incrementó el peso de frutos para comercialización (Arancon *et al.*, 2004b). El efecto positivo del VL sobre el tamaño del fruto, no pareció estar mediado por la disponibilidad de macronutrientes, dado que todas las plantas fueron provistas de las dosis adecuadas de fertilizantes inorgánicos, por lo que podría especularse que se debió a la producción de sustancias reguladoras contenidas en el VL o producidas por microorganismos presentes en el VL. En el caso de los HMA, recientemente se ha reportado su influencia sobre el tamaño de productos agrícolas (peso, longitud o diámetro) (Charron *et al.*, 2001; Kaya *et al.*, 2003; Mena-Violante *et al.*, 2006), lo cual coincidió con lo observado en el presente trabajo, ya que los HMA también favorecieron el incremento del peso de los frutos. Sin embargo, no se logró el mismo resultado al combinarlos con VL o con fertilizante. Dicho efecto podría ser resultado de una mejor adquisición de nutrimentos, principalmente P (Hernández y Chailloux, 2001). En este sentido, se ha señalado que los HMA pueden presentar un efecto nulo sobre las plantas cuando éstas no se encuentran sometidas a estrés (*e.g.* carencia de nutrimentos, sequía) (Smith y Read, 1997). En cuanto a la composición proximal de los frutos de fresa, se observó que el tratamiento VL provocó una disminución significativa del % de humedad en frutos, en relación al resto de los tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de la utilización de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y vermicompost líquido (VL) sobre la composición proximal de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*) variedad Albion.

Tratamiento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Fibra Cruda (%)
CTL	89.13±0.44 a	7.00±0.94 a	1.62±0.52 d	5.85±0.30 a
F	89.12±0.56 a	3.33±1.58 c	2.25±0.15 c	5.24±0.35 ab
M	88.92±0.11 ab	7.00±1.80 a	2.45±0.38 ab	5.93±0.04 a
VL	87.75±0.42 cd	3.33±0.06 c	2.27±0.08 bc	5.93±0.44 a
M+F	88.48±0.69 abc	3.33±0.38 c	2.58±0.25 ab	5.85±0.50 a
VL+F	89.36±0.20 a	3.66±0.84 c	3.09±0.95 a	5.94±0.26 a
M+VL	89.04±0.14 a	5.66±2.09 ab	2.39±0.10 bc	5.84±0.04 a
M+VL+F	89.36±0.05 a	4.00±0.47 bc	2.23±0.89 ef	5.85±0.10 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según MDS P<0.05

Respecto al contenido de ceniza, el tratamiento M promovió un aumento significativo del % de ceniza en los frutos de fresa en comparación con el tratamiento F (3.7% mayor). En general los tratamientos con HMA incrementaron el % de ceniza, excepto cuando estos se combinaron con fertilizante. En relación al contenido de grasa, los tratamientos con HMA y VL (solos o combinados) incrementaron el % de grasa de los frutos respecto al tratamiento F, excepto el tratamiento M+VL+F en el cual los frutos presentaron el mismo % de grasa que los frutos del tratamiento F. Cabe destacar que el tratamiento VL+F produjo los frutos con mayor porcentaje de grasa. No se presentaron diferencias significativas en el contenido de fibra cruda en frutos obtenidos de los diferentes tratamientos. Hasta donde se sabe, este es el primer reporte de la composición proximal de frutos provenientes de plantas tratadas con HMA y VL. Cabe destacar que

la aplicación de HMA promovió la acumulación de cenizas y grasa en los frutos de fresa, lo cual sugiere que los HMA influyen el llenado del fruto y la distribución de fotosintatos en el mismo. Otro atributo de calidad del fruto que puede ser influenciado por la aplicación de HMA y vermicompost líquido fueron los °Brix (Cuadro 3). Al respecto se ha reportado que el vermicompost puede provocar el aumento de °Brix en tomate cuando se aplica por aspersión foliarmente (Arteaga *et al.*, 2006) o sólido en suelo (Gutiérrez *et al.*, 2007). Sin embargo, en el presente estudio el VL no favoreció el aumento de °Brix en frutos de fresa, lo cual podría explicarse por la diferencia en la forma de aplicación, así como la dosis y el cultivo. Por su parte el tratamiento M provocó una disminución significativa de °Brix (14%), respecto a aquellos mostrados por los frutos del tratamiento F. Los HMA, promovieron el aumento de este parámetro únicamente en combinación con fertilizante.

Cuadro 3. Efecto de la utilización de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y vermicompost líquido (VL) sobre los °Brix de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*) variedad Albion.

Tratamientos	°Brix
CTL	6.7 ± 0.9d
F	7.8 ± 0.5bc
M	6.7 ± 0.8d
VL	8.0 ± 0.4bc
M+F	8.2 ± 0.5ab
VL+F	7.0 ± 0.8d
M+VL	7.3 ± 0.4cd
M+VL+F	7.9 ± 0.3bc

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según MDS $P < 0.05$

Uno de los aspectos más sobresalientes que se ha reportado sobre el efecto de la aplicación de microorganismos rizosféricos sobre la calidad de frutos, ha sido el mejoramiento de la textura (firmeza). Mena-Violante y Olalde-Portugal (2007) mostraron que la inoculación de las raíces de tomate con bacterias promotoras de crecimiento vegetal (*Bacillus subtilis*) incrementó significativamente la firmeza de los frutos. Charron *et al.*, (2001) reportaron diferencias en este atributo físico en bulbos de cebolla (*Allium cepa*) debidas a la inoculación con HMA. Cabe destacar que en ambos estudios se sugirió la influencia de los microorganismos sobre el proceso de maduración de los frutos. Los frutos obtenidos de las plantas tratadas con VL+F fueron significativamente más firmes (20%) que los frutos del tratamiento F (Cuadro 4). Mientras que el tratamiento M+VL disminuyó significativamente la firmeza de los frutos en comparación con el tratamiento F (27%). No se considera que dichas diferencias entre tratamientos se deban a un estado de madurez distinto de los frutos, ya que todos fueron cosechados en el mismo estadio, lo cual se confirmó mediante la medición y análisis de los parámetros de color L^* , a^* , b^* y C^* (datos no mostrados).

Cuadro 4. Efecto de la utilización de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y vermicompost líquido (VL) sobre la firmeza de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*) variedad Albion.

Tratamiento	Firmeza (N)
CTL	1.64 ± 0.48g
F	2.21 ± 0.75cde
M	2.27 ± 0.45bcde
VL	2.53 ± 0.71abc
M+F	2.48 ± 0.72abcd

VL+F	2.67 ± 0.63ab
M+VL	1.60 ± 0.48g
M+VL+F	2.45 ± 0.72abcd

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según MDS $P < 0.05$

Los resultados de este trabajo mostraron la tendencia de los HMA a mejorar la firmeza, sin embargo, el efecto no fue contundente, esto podría deberse a que la fisiología de maduración de estos productos agrícolas es distinta, siendo la fresa a diferencia del tomate un fruto no climatérico (Given *et al.*, 1988). La misma tendencia se presentó con el VL al favorecer la firmeza de los frutos, sin embargo al ser combinado con fertilizante mostró un mayor impacto sobre dicho atributo. El impacto de los HMA y del VL sobre la firmeza de frutos de fresa probablemente sea consecuencia de la disminución de la actividad de ciertas enzimas que provocan cambios en los componentes pécticos de la pared celular (Woodward, 1972; Redgwell *et al.*, 1997; Medina *et al.*, 1997), o enzimas que degradan la matriz de celulosa (Knee *et al.*, 1977). En este sentido, se ha reportado el incremento de la actividad de endoglucanasa durante la maduración de frutos de fresa (Abeles y Takeda, 1990; Harpster *et al.*, 1998; Llop *et al.*, 1999; Trainotti *et al.*, 1999). Los efectos de los bioestimuladores utilizados sobre la firmeza de los frutos, podría entonces relacionarse con la maduración (Mena-Violante y Olalde-Portugal, 2007), esto como resultado de la influencia ejercida sobre la regulación de dicho proceso por moléculas inductoras (fitohormonas) presentes en el VL o producidas por los HMA u otros microorganismos. Sin embargo, es poco probable que sea la causa única de los efectos positivos encontrados sobre la textura de los frutos, éstos podrían relacionarse con factores tejido-específico o relacionados con estructura que afectan la textura del fruto, los cuales incluyen la composición química de la pared celular, organización espacial e interacción de los constituyentes macromoleculares en la formación de esta estructura (Perkins, 1995); actividad de enzimas relacionadas con el ablandamiento (Abeles y Takeda, 1990; Medina *et al.*, 1997); la forma y el tamaño de la célula; y la cantidad y distribución de los espacios celulares, entre otros. Es destacable el hecho de que el manejo precosecha mediante la aplicación de microorganismos y bioestimuladores pueda influenciar la firmeza de los frutos, ya que se esperaría que los frutos provenientes de plantas biofertilizadas y/o bioestimuladas tuvieran una vida de anaquel más prolongada, sin embargo es necesario realizar investigaciones posteriores para determinarlo.

El contenido de compuestos bioactivos o nutraceuticos de los frutos de fresa se presenta en el Cuadro 5. Los resultados mostraron que la concentración de fenoles totales en los frutos de fresa, coincidió con el reportado por otros autores (230-530 mg equivalentes de ácido gálico/100 g de peso fresco) (Prior *et al.*, 1998; De Ancos *et al.*, 2000a, b; Proteggente *et al.*, 2002; Faria *et al.*, 2005; Rababach *et al.*, 2005), y fue superior al reportado por Heinonen *et al.*, (1998) y Scalzo *et al.*, (2005) para *Fragaria ananassa* (295 mg y 212.8 mg equivalentes de ácido gálico/100 g de peso fresco, respectivamente). De igual manera, el contenido de flavonoides resultó mayor al reportado por Meyers *et al.*, (2003) y Cheel *et al.*, (2007), quienes reportaron contenidos de 78.0 mg equivalentes de catequina/100 g de peso fresco y 123.2 mg equivalentes de quercitina/100 g de peso fresco, en *Fragaria x ananassa*. Las diferencias encontradas entre los contenidos de los compuestos fenólicos obtenidos en el presente estudio y lo reportado en la literatura citada, podrían atribuirse a un efecto de la variedad (Scalzo *et al.*, 2005), así como a otros factores tales como las condiciones ambientales y el manejo del cultivo. Por su parte el contenido de antocianinas de los frutos de fresa coincidió con lo reportado por Clifford, (2000), quien documentó que el contenido de antocianinas totales en diferentes variedades de fresa puede fluctuar en un rango de 15.0 a 35.0 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/100g, mientras que Meyers, (2003) reportó concentraciones que oscilaron entre 22.0 y 48.0 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/100g de peso fresco. Dichos contenidos de antocianinas fueron similares a los reportados por Castro *et al.*, (2002) en *Fragaria ananassa* variedad Camarosa (48.0 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/100g de peso fresco).

Los resultados mostraron claramente que tanto los HMA como el VL promueven la acumulación de compuestos fenólicos en los frutos fresa. Los frutos obtenidos de las plantas tratadas con VL y M+F presentaron un contenido de fenoles totales significativamente superior al de los frutos del tratamiento F (29 y 17% respectivamente), mientras que los frutos del resto de los tratamientos alcanzaron un contenido de fenoles totales similar al de los frutos del tratamiento F (Cuadro 5). En el caso particular del VL, se observó que causa un incremento significativo de la concentración de fenoles totales, mientras que los HMA favorecen la acumulación de flavonoides y antocianinas, como lo reportaron Castellanos et al., (2010).

Cuadro 5. Efecto de la utilización de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y vermicompost líquido (VL) sobre el contenido de fenoles, flavonoides y antocianinas totales de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*) variedad Albion.

Tratamiento	Fenoles(mg/100g)	Flavonoides (mg/100g)	Antocianinas (mg/100g)
CTL	359.3 ± 34.7c	253.5± 28.1bc	19.9 ± 1.6e
F	455.0 ± 20.4b	226.5 ± 31.3c	27.1 ± 3.2bcd
M	398.1 ± 42.9bc	413.2 ± 36.0a	31.5 ± 5.3abc
VL	589.3 ± 94.4a	290.4 ± 48.4b	32.2 ± 5.5ab
M+F	535.9 ± 59.9a	324.0 ± 25.8b	32.7 ± 4.2ab
VL+F	396.3 ± 103.1 bc	324.8 ± 35.1b	25.4 ± 2.7d
M+VL	449.6 ± 21.2b	285.9 ± 28.4b	37.5 ± 3.9a
M+VL+F	452.0 ± 34.1b	256.5 ± 32.7bc	27.4 ± 4.4bcd

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según MDS P<0.05

Este hecho cobra importancia debido a las diversas actividades biológicas (e.g. antioxidante, antiinflamatoria) (Gu *et al.*, 2004; Pernía *et al.*, 2004) que estos compuestos presentan y que se asocian con múltiples beneficios a la salud (Cheel *et al.*, 2007; Woodman y Chan, 2004).

CONCLUSIONES

Se podría concluir que tanto los HMA, como los microorganismos o las sustancias húmicas presentes en el extracto acuoso del vermicompost, influyen la calidad de los frutos de fresa. Estos hallazgos indican la importancia de estudiar los efectos “globales” de la utilización de biofertilizantes y bioestimuladores ya que no solamente impactan el desarrollo de la planta sino también la calidad de los frutos, lo cual debe ser considerado como un criterio de selección de microorganismos o sustancias con función de biofertilización y/o bioestimulación.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Aal, E.S.M; Hucl, P. 1999. **A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats.** American Association of Cereal Chemists, Inc. 76: 350-354 p.
- Abeles, F. B; Takeda, F. 1990. **Cellulase activity and ethylene in ripening strawberry and apple fruits.** Sci Hortic 42:269–275 p.
- Arancon, N. Q; Edwards, C. A; Atiyeh, R; Metzger, J. D. 2004 a. **Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers.** Bioresource Technology 93:139-144 p.
- Arancon, N. Q; Edwards, C. A; Bierman, P; Welch, C; Metzger, J. D. 2004 b. **Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields.** Bioresource Technology 93:145-153 p.
- Arancon, N. Q; Edwards, C. A; Lee, S; Byrne, R. 2006. **Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth.** European Journal of Soil Biology 42:S65-S69 p.

- Arancon, N. Q; Lee, S; Edwards C. A; Atiyeh, R. M. 2003. **Effects of humic acids and aqueous extracts derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants.** *Pedobiologia* (Jena) 47: 744-781 p.
- Arteaga, M. G. N; Furidi F; Pino J. A; Menéndez J. L; Cartaya O. 2006. **Evaluación de las aplicaciones foliares de Humus Líquido en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) var. Amalia en condiciones de producción.** *Cultivos tropicales* 27 (3): 95-101 p.
- Atiyeh, R. M; Arancon, N. Q; Edwards, C. A; Metzger, J. D. 2000. **Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes.** *Bioresour. Technol.* 75 (3):175-180 p.
- Atiyeh, R. M; Edwards, C. A; Metzger, J. D; Lee, S; Arancon, N. Q. 2002. **The influence of humic acids derived from earthwormprocessed organic wastes on plant growth.** *Bioresour. Technol.* 84:7-14 p.
- Atiyeh, R. M; Subler, S; Edwards, C. A; Bachman, G; Metzger J. D; Shuster, W. 2000. **Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil.** *Pedobiologia* (Jena) 44:579-590 p.
- Augé, R. M. 2004. **Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations.** *Canadian Journal of Soil Science* 84:373-381 p.
- Azarmi , R; Giglou M. T; Taleshmikail, R.D. 2008. **Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field.** *African Journal of Biotechnology* 7: 2397-2401 p.
- Bagyaraj, D. J; Sreeramulu, K. R. 1982. **Preinoculation with VA mycorrhiza improves growth and yield of chilli transplanted in the field and saves phosphatic fertilizer.** *Plant Soil* 69:375-381. p.
- Carpenter, B. 2005. **Diving into compost tea.** *Biocycle* 46:61-62 p.
- Castellanos-Morales, V; Villegas, J; Wendelin, S; Vierheilig, H; Cardenas-Navarro, R. 2010. **Root colonization by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* alters the quality of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch) at different N-levels.** *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:1774-1782 p.
- Castro, I, Gonçalves, O; Teixeira J. A, Vicente A. A. 2002. **Comparative study of a Selva and Camarosa strawberries from the commercial market.** *Journal of Food Science* 67: 2132-2137 p.
- Charron G; Furlan V; Bernier-Cardou M; Doyon G. 2001. **Response of onion plants to arbuscular mycorrhizae . Effects of inoculation method and phosphorus fertilization on biomass and bulb firmness.** *Mycorrhiza* 11:187-197 p.
- Cheel, J; Theoduloz, C; Rodríguez, J.A; Caligari, P; Schmeda-Hirschmann, G. 2007. **Free radical scavenging activity and phenolic content in achenes and thalamus from *Fragaria chiloensis* ssp. *chiloensis*, *F. vesca* and *F. x ananassa* cv. Chandler.** *Food Chemistry* 102:36-44 p.
- Clifford, M. N. y Scalbert A. 2000. **Ellagitannins—nature, occurrence and dietary burden.** *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80:1118-1125 p.
- De Ancos, B; González, E. M; Cano, M. P. 2000a. **Ellagic acid, vitamin C, and total phenolic contents and radical scavenging capacity affected by freezing and frozen storage in raspberry fruit.** *J. Agr. Food Chem.* 48: 4565-4570 p.
- De Ancos, B; Ibañez, E; Reglero, G; Cano, M. P. 2000b. **Frozen storage effects on anthocyanins and volatile compounds of raspberry fruit.** *J. Agr. Food Chem.* 48: 873-879 p.
- Duffy, E. M; Cassells, A. C. 2000. **The effect of inoculation of potato (*Solanum tuberosum* L.) microplants with plant-growth promoting rhizobacteria on tuber yield and tuber size distribution.** *Applied Soil Ecology* 15:137-144. p.
- Faria, A; Oliveira, J; Neves, P; Gameiro, P; Santos,Buelga, C; De Freitas, V; Mateus, N. 2005. **Antioxidant properties of prepared blueberry (*Vaccinium myrtillus*) extracts.** *J. Agr. Food Chem.* 53: 6896-6902 p.
- Freese, R. 2006. **Markers of oxidative DNA damage in human interventions with fruit and berries.** *Nutr Cancer* 54:143-147 p.
- Given, N. K; Venis M. A; Grierson, D. 1988. **Hormonal regulation of ripening in the strawberry, a non-climacteric fruit.** *Planta* 174:402-406 p.
- Gu, L; Kelm, M. A; Hammerstone, J. F; Beecher, G; Holden, J; Haytowitz, D; Gebhardt, S; Prior, R. L. 2004. **Concentrations of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption.** *J nutr* 134:613-617 p.

- Proteggente, A. R; Sekher, P. A; Paganga, G; Van Buren, L; Wagner, E; Wiseman, S; Van De Put, F; Dacombe, C; Rice-Evans, C. A. 2002. **The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition.** Free Radical Res. 36: 217-233 p.
- Rababach, T. M; Ereifej, K. I; Howard, L. 2005. **Effect of ascorbic acid and dehydration on concentration of total phenolics, antioxidant capacity, anthocyanins, and color in fruits.** J. Agr. Food Chem. 53, 4444-4447 p.
- Redgwell, R. J; MacRae, E; Hallett, I; Fisher, M; Perry, J; Harker, R. 1997. **In vivo and in vitro swelling of cell walls during fruit ripening.** Planta 203:162-173 p.
- Scalzo, J; Politi, A; Pellegrini, N; Mezzetti, B; Battino, M. 2005. **Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit.** Nutrition 21:207-213 p.
- Scheuerell, S. J, Mahaffee, W. F. 2002. **Compost tea: principles and prospects for plant disease control.** Compost Sci Util 10:313-338 p.
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1965. **Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents.** American Journal of Enology and Viticulture 16:144-158 p.
- Smith, S. E; Read, D. J. 1997. **Mycorrhizal Symbiosis.** Academic Press, San Diego.
- Sun, J; Chu, Y. F; Wu, X, Liu, R. H. 2002. **Antioxidant and antiproliferative activities of fruits.** J Agric Food Chem 50:7449-7454 p.
- Trainotti, L; Spolaore, S; Pavanello, A; Baldan, B; Casadoro, G. 1999. **A novel E-type endo- β -1,4-glucanase with a putative cellulose-binding domain is highly expressed in ripening strawberry fruits.** Plant Mol. Biol. 40:323-332 p.
- Tsavkelova, E. A; Klimova, S. Y; Cherdyntseva, T. A; Netrusov, A. I. 2006. **Microbial Producers of Plant Growth Stimulators and Their Practical Use: A Review.** Appl Biochem Microbiol 42:133-143 p.
- Vessey, K. J. 2003. **Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers.** Plant and Soil 255: 571-586 p.
- Whipps, J. M. 2004. **Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens.** Can J Bot. 82:1198-1127 p.
- Woodman, O; Chan, E. 2004. **Vascular and anti-oxidant actions of flavonols and flavonones.** Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology 31:786-90 p.
- Woodward, J.R. 1972. **Physical and chemical changes in developing strawberry fruits.** Journal of the Science of Food and Agriculture 23:465-473 p.
- Zandonadi, D. B; Canellas, L. P; Facxanha, A. R. 2007. **Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation.** Planta 225:1583-1595 p.
- Zehnder, G.W; Murphy, I.F; Sikora, E.J; Kloepper, J.W. 2001. **Application to rhizobacteria for induced resistance.** Eur. J. Plant Pathol. 107:39-50 p.

M. en C. Fabián Heriberto Rivera-Chávez

Egresado del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable del CIIDIR IPN Unidad Michoacán.

M. en C. Luz Elena Castillejo-Álvarez

Egresado del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable del CIIDIR IPN Unidad Michoacán.

Dr. Gilberto Vázquez-Gálvez

Profesor Investigador. Departamento de Investigación del CIIDIR IPN Unidad Michoacán.

Dra. M. Valentina Angoa-Pérez

Profesora Investigadora. Departamento de Investigación del CIIDIR IPN Unidad Michoacán.

M. en C. Guadalupe Oyoque-Salcedo

Profesora Investigadora. Departamento de Investigación del CIIDIR IPN Unidad Michoacán.

Dra. Hortencia Gabriela Mena-Violante

Profesora Investigadora. Departamento de Investigación del CIIDIR IPN Unidad Michoacán. tenchisgmv@hotmail.com.